

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РАДИОФИЗИКА»



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

Б.А. Левитан

«10» июня 2016 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена
по специальной дисциплине
Антенны, СВЧ - устройства и их технологии

Направление подготовки:

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность подготовки:

05.12.07 Антенны, СВЧ - устройства и их технологии

Москва

2016

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая программа базируется на кратком паспорте специальности 05.12.07 и на вузовских дисциплинах, соответствующих Федеральному государственному стандарту высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ АНТЕНН И СВЧ-УСТРОЙСТВ.

Уравнения Максвелла для нестационарных и монохроматических полей. Материальные уравнения и типы сред. Векторные и скалярные потенциалы электромагнитного поля. Волновые уравнения и уравнения Гельмгольца. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля. Теорема Умова–Пойнтинга.

Постановка задач электродинамики, методы их решения. Внутренние и внешние задачи электродинамики. Теорема единственности.

Свободные электромагнитные волны как решения однородных уравнений электродинамики в разных системах координат. Плоские однородные волны в изотропных средах с потерями и без потерь и в гиротропных средах (плазма и феррит при наличии подмагничивания). Вращение плоскости поляризации, резонансное поглощение. Немонохроматические волны в диспергирующих средах. Волны в активных средах; представление о волновых процессах в нелинейных средах. Падение плоской однородной волны на плоскую границу раздела однородных изотропных сред. Двойное преломление на границе раздела с гиротропной средой.

Локально-плоские волны и геометрическая оптика. Влияние неоднородности среды на распространение радиоволн. Уравнения эйконала и переноса. Уравнение луча. Сопровождающий трехгранник Френеля на луче.

Изменение поляризации вдоль луча. Возникновение каустик. Рефракция в неоднородных средах.

Распространение радиоволн в природных условиях. Влияние земной поверхности, тропосферы, ионосферы, космического пространства на распространение радиоволн. Распространение радиоволн в урбанизированных зонах.

Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Теорема эквивалентности, эквивалентные поверхностные источники.

Электромагнитное поле заданного распределения возбуждающих токов в свободном пространстве. Принципы взаимозаменяемости полей, электрических и магнитных токов, принцип двойственности. Принцип электродинамического подобия. Сведение задачи об излучении антенн к интегральным и интегродифференциальным уравнениям.

Явления и задачи дифракции. Строгая постановка дифракционных задач. Дифракция на цилиндре, шаре и клине. Интегральные уравнения в задачах дифракции и возбуждения тел сложной формы. Асимптотические методы в квазиоптической области: приближение Гюйгенса-Кирхгофа и геометрическая теория дифракции.

Численные методы электродинамики. Постановка задачи, представление полей, алгоритмизация задач возбуждения, излучения и дифракции электромагнитных полей и волн.

Проекционные методы. Процесс Бубнова–Галёркина. Проекционное наложение граничных условий. Сведение задачи к рассмотрению граничных условий.

Дискретизационные методы. Декомпозиционный принцип. Математическое моделирование сложных структур.

2. ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА СВЧ - УСТРОЙСТВ.

Уравнения электродинамики для направляемых волн. Теория и классификация свободных волн в продольно-регулярных направляющих системах.

Типы направляющих систем. Полые и коаксиальные волноводы. Диэлектрические волноводы и линии поверхностных волн. Полые волноводы с частичным диэлектрическим и гиротропным заполнением. Полосковые и микрополосковые линии, щелевые и копланарные волноводы. Оптические волноводы, световоды. Замедляющие структуры. Искусственные диэлектрики. Квазиоптические направляющие системы.

Технические характеристики и особенности конструирования фидеров различных диапазонов. Конструктивно-технологические особенности микрополосковых линий.

Теория электромагнитных резонаторов. Полые резонаторы. Диэлектрические и ферритовые резонаторы. Резонаторы на основе планарных структур. Открытые квазиоптические резонаторы.

Технические характеристики и особенности конструирования резонаторов различных типов.

Теория сложных волноводных устройств. Многомодовые матрицы рассеяния, проводимости и сопротивления. Основные свойства одномодовых матриц.

Эквивалентные схемы волноводных устройств. Элементы теории цепей СВЧ. Круговые диаграммы полных сопротивлений и проводимостей.

Применение общей теории сложных волноводных устройств и теории цепей СВЧ при использовании различных направляющих систем.

Фидерные устройства и их элементы. Методы согласования. Узкополосное и широкополосное согласование. Ограничения на полосу согласования. Согласующие элементы для линий разных типов.

Элементы возбуждения волноводов и резонаторов. Соединения линий передачи, переходные элементы, вращающиеся сочленения. Разветвления, мостовые соединения. Направленные ответвители.

Устройства регулирования амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик. Атенюаторы, фазовращатели, поляризаторы.

Устройства с применением ферритов. Волноводные, коаксиальные, полосковые и микрополосковые фазовращатели, вентили, циркуляторы и ограничители.

Коммутационные устройства, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Антенные переключатели.

Частотные фильтры, элементы теории и классификация. Реализация фильтров в виде волноводных, коаксиальных, полосковых и микрополосковых конструкций. Перестраиваемые фильтры.

Принципы построения и методы проектирования приемо-передающих устройств СВЧ. Особенности активных СВЧ-устройств на основе полупроводниковых и миниатюрных вакуумных приборов (генераторы, умножители частоты, малошумящие усилители). Применение биполярных и полевых транзисторов, лавинно-пролетных диодов, туннельных диодов и диодов Ганна.

Особенности мощных СВЧ-устройств (клистронные усилители, магнетронные генераторы и генераторы на ЛБВ и ЛОВ).

Пассивные нелинейные СВЧ-устройства на полупроводниковых приборах. Транзисторные и диодные преобразователи частоты.

Теория и техника передачи сигналов по волоконно-оптическим линиям связи.

Применение СВЧ-устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёт основных типов СВЧ-устройств.

3. ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ.

Теория антенн. Приёмная и передающая антенны, их основные параметры и технические характеристики. Соотношение режимов приёма и передачи, теорема взаимности. Эффективная поверхность антенны. Обратное излучение приемной антенны. Приближение заданных токов и применение сведений об элементарных излучателях в теории антенн. Учет влияния земной поверхности и экранов.

Система одностипных излучателей. Теорема перемножения диаграмм. Эквивалентные решётки. Непрерывные распределения. Влияние амплитудно-фазового распределения поля и конфигурации апертуры на основные характеристики антенн. Статистические характеристики антенн.

Многоэлементные антенны (решётки). Взаимодействие элементов, метод наводимых э.д.с. в приближении заданных токов.

Фазированные антенные решетки (ФАР). Частотное, фазовое и фазочастотное сканирование. Дискретный и дискретно-коммутационный методы. Приближение бесконечной решетки, теорема Флоке. Многолучевые антенные решетки.

Вопросы синтеза антенн. Сверхнаправленность. Типы антенн и их реализация в различных диапазонах волн.

Антенны длинных, средних и коротких волн. Вибраторные антенны для диапазонов КВ и УКВ. Антенны бегущей волны дискретного и непрерывного типов.

Спиральные, диэлектрические и ребристо-стержневые антенны. Частотно-независимые антенны. Рупорные, зеркальные, линзовые, щелевые и другие антенны СВЧ.

Антенные решётки с электронным сканированием. Системы управления ФАР, применение ферритов и полупроводниковых элементов. Активные решётки (АФАР). Приемо-передающие модули. Самофокусирующиеся антенные системы. Малошумящие антенные системы. Антенны с моделируемыми параметрами. Адаптивные антенны. Антенны

для широкополосных сигналов. Антенные системы с регулируемыми поляризационными характеристиками. Моноимпульсные антенные системы.

Диаграммообразование ФАР с помощью оптических методов. Волоконно-оптические и гибридные диаграммообразующие схемы (ДОС) ФАР. Радиооптические антенны.

Учёт особенностей распространения радиоволн и расположения антенны. Вопросы надёжности антенно-фидерных устройств.

Измерение параметров антенно-фидерных устройств.

Применение антенных устройств и систем в технологии производства, биологии и медицине.

Численный электродинамический расчёта основных типов антенных устройств и систем.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ АНТЕНН И СВЧ-УСТРОЙСТВ, А ТАКЖЕ ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА.

Современные компьютерные технологии проектирования, расчёта и оптимизации антенных и СВЧ – устройств широкого применения. Модели базовых элементов разных уровней. Составление модели сложного объекта.

Технология изготовления антенн и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования антенных и СВЧ-устройств.

Методы технологии конструирования интегральных схем СВЧ.

Основная литература

1. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. Устройства СВЧ и антенн. М.: Радиотехника, 2016. – 560 с.
2. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование ФАР: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Д.И. Воскресенского. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.: ил.
3. Устройства СВЧ и антенные системы. Вып. 2. Моделирование, проектирование и технологии СВЧ-устройств и ФАР. Под ред. Гринева А.Ю., -М.: Радиотехника, 2014.- 198 с.
4. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. В.Л. Гостюхина. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2011. – 304 с.: ил.

Дополнительная литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. Под ред. Пименова Ю.В. М.: Радио и связь, 2000.
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 2000.
3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1992.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: «Наука», 1989.
5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Высшая школа, 1990.
6. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1988.
7. Яковлев О.И. Космическая радиофизика. М.: РФФИ, 1998.
8. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. Под ред. Воскресенского Д.И. М.: Радио и связь, 1994.
9. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов. Под ред. Воскресенского Д.И. М: МАИ, 1999..

10. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994.
11. Баскаков С.И., Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.
12. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.
13. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Тарлыков В.А.. Основы лазерной техники. Л.: Машиностроение, 1990.
14. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
15. Кугушев А.М., Голубева Н.С., Митрохин В.И. Основы электроники. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие для вузов. М. : Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

Примерный перечень вопросов:

1. Векторы электрического и магнитного поля в материальной среде. Материальные уравнения и классификация сред.

2. Полная система уравнений электродинамики-уравнения Максвелла. Следствия из уравнений Максвелла (уравнение непрерывности и закон сохранения заряда).

3. Метод комплексных амплитуд. Уравнения электродинамики в комплексной форме для гармонической временной зависимости. Понятие о комплексной диэлектрической проницаемости.

4. Граничные условия для нормальных составляющих векторов электромагнитного поля.

5. Теорема Пойнтинга в общем виде. Вектор Пойнтинга. Физический смысл слагаемых в теореме Пойнтинга.

6. Средний баланс энергий для полей, меняющихся во времени по гармоническому закону. Теорема Пойнтинга в комплексной форме для полей, меняющихся во времени по гармоническому закону. Комплексный вектор Пойнтинга.

7. Теоремы единственности для внутренней и внешней задач электродинамики.

8. Волновые уравнения электродинамики для векторов электромагнитного поля.

9. Электродинамические потенциалы.

10. Квазистационарное электромагнитное поле. Обоснование теории длинных линий.

11. Решение волнового уравнения для плоской однородной электромагнитной волны.

12. Строение волнового поля плоской однородной электромагнитной волны.

13. Основные параметры плоской однородной электромагнитной волны (основные выражения для векторов поля, длина волны, волновое число, фазовая скорость, характеристическое сопротивление).

14. Плоская однородная электромагнитная волна в среде с потерями (коэффициент фазы, коэффициент затухания, основные выражения для векторов поля, длина волны, волновое число, фазовая скорость, комплексное характеристическое сопротивление).

15. Характеристики плоской однородной электромагнитной волны в среде с потерями (связь коэффициентов фазы и затухания с параметрами среды).

16. Поляризация электромагнитных волн.

17. Уравнение плоской волны, распространяющейся в произвольном направлении.

18. Уравнения Максвелла для анизотропных сред (феррит с продольным намагничиванием).

19. Распространение электромагнитных волн в ферритовой среде с продольным намагничиванием.

20. Эффект Фарадея.

21. Падение плоской волны на границу раздела двух сред (основные определения). Законы Снеллиуса (вывести на примере нормально поляризованной волны). Условие полного прохождения и полного отражения плоской волны через границу раздела двух сред.

22. Графики модулей коэффициентов Френеля для нормально и параллельно поляризованной плоской волны в зависимости от угла падения и параметров сред.

23. Поверхностная волна при полном отражении плоской волны от границы раздела двух сред.

24. Падение плоской волны на границу поглощающей среды.

25. Граничное условие Леонтовича.

26. Потери энергии в металлических телах.

27. Общее описание волны в однородной направляющей системе.

28. Связь между продольными и поперечными составляющими полей в однородной направляющей системе.

29. Классификация направляемых волн. Взаимная ориентация векторов поля и характеристическое сопротивление волны в направляющей системе с Е и Н волнами. Основные характеристики Е и Н волн в экранированных направляющих системах.

30. Режимы работы в направляющих системах.

31. Электрические и магнитные волны в прямоугольном металлическом волноводе. Основная волна в прямоугольном металлическом волноводе.

32. Понятие о возбуждении электромагнитных волн в направляющих системах.

33. Электрические и магнитные волны в круглом металлическом волноводе.

34. Общие свойства Т-волн.

35. Требования, предъявляемые к линиям передачи. Одноволновый режим.

36. Мощность, переносимая электромагнитной волной по линии передачи.

37. Затухание в линии передачи. Энергетический метод определения коэффициента затухания.

38. Основная задача об излучении.

39. Электромагнитное поле элементарного электрического вибратора. Анализ структуры электромагнитного поля элементарного электрического вибратора. Мощность излучения и сопротивление излучения элементарного электрического вибратора. Диаграмма направленности элементарного электрического вибратора. Коэффициент направленного действия элементарного электрического вибратора.

40. Антенна бегущей волны. ДН

41. Антенны и устройства СВЧ в радиосистемах
42. Антенны с электрическим сканированием
43. Антенные решетки (АР). Виды АР.
44. АР с линейным набегом фазы
45. Взаимодействие излучателей в решетке
46. Входное сопротивление симметричного вибратора
47. Излучение линейной синфазной АР
48. Излучение плоских и пространственных АР
49. Классификация антенн и устройств СВЧ.
50. Классификация линий передач СВЧ.
51. Длинная линия. Вывод основных соотношений. Работа линии при различных нагрузках. Линия с потерями. КПД линии с потерями.
52. Согласование линий передач с нагрузкой, цели и способы. Узкополосное и широкополосное согласование линий с нагрузкой.
53. Направленность действия антенн. ДН, КНД, КУ, УБЛ
54. Общие характеристики антенн и устройства СВЧ. Особенности расчета и конструирования антенн. Поляризационные характеристики антенн.
55. Поле излучения и ДН вибратора. Приближенная теория симметричного вибратора. Резонансные частоты. Распределение тока.
56. Строгая постановка и решение задачи об излучении симметричного вибратора. Сравнительный анализ строгой и приближенной теории симметричного вибратора.
57. Расчет полного сопротивления излучателя в решетке с учетом взаимодействия. Расчет характеристик антенн с директором и рефлектором.
58. Метод наведенных ЭДС. Взаимные и наведенные сопротивления излучения.
59. Экспериментальное определение характеристик антенн.
60. Антенны с обработкой сигнала.

61. Влияние фазовых ошибок в поле раскрыва на характеристики антенны.
62. Обобщение теории линий на волноводные системы. Возбуждение волн в волноводе. Типы применяемых волноводов и их характеристики. Затухание в волноводах. Согласование волноводных трактов. Основные соотношения теории регулярных волноводов.
63. Рупорные антенны. Поле излучения. КНД.
64. Щелевые антенны. Применение принципа двойственности для расчета щелевых антенн. Возбуждение щелей. Волноводные многощелевые антенны.
65. Диэлектрические стержневые антенны.
66. Спиральные антенны.
67. Поле излучения прямоугольного и круглого раскрыва.
68. Зеркальные антенны. Классификация. Зеркальные антенны с диаграммой направленности специальной формы. Особенности конструирования зеркал. Области применения. Основные соотношения. Поле излучения зеркальной антенны. Точность изготовления зеркала.
69. Линзовые антенны. Поле излучения и зонирование линз. Диэлектрические. Волноводные и линзы искусственного диэлектрика. Апланатические и специальные линзы. Области применения линз.
70. Матричное описание внешних характеристик устройств СВЧ. Методы решения внешней задачи СВЧ.
71. Мостовые устройства СВЧ. Симметрирующие устройства.
72. Устройства СВЧ с применением феррита. Вентили, фазовращатели и циркуляторы.

Разработчик



Ю.В. Кривошеев